



# 北京市地方计量技术规范

JJF (京) XXXX-XXXX

## 可编程延迟线设备校准规范

Calibration Specification of programmable delay line instruments

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

北京市市场监督管理局 发布

# 可编程延迟线设备 校准规范

Calibration Specification of  
programmable delay line instruments

JJF(京) XXXX-XXXX

归口单位：北京市市场监督管理局

主要起草单位：北京市计量检测科学研究院

参与起草单位：北京创宇星通科技有限公司

本规范委托 XXXXXXXX 负责解释

# 目 录

目 录 .....	(II)
引 言.....	(I)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语和定义.....	(1)
4 概述.....	(1)
5 计量特性.....	(1)
6 校准条件.....	(2)
7 校准项目和校准方法.....	(2)
8 复校时间间隔.....	(6)
附录 A .....	(7)
附录 B.....	(9)
附录 C.....	(10)

# 引 言

JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001《通用计量术语及定义》和 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范编制工作的基础性文件。

本规范包含了对可编程延迟线设备的计量要求和具体校准项目,计量特性主要包括固定时延、时延可调范围、时延准确度、时延分辨力。

本规范为首次发布。

# 可编程延迟线设备校准规范

## 1 范围

本规范适用于延时分辨力小于 100ps 的可编程延迟线设备的校准。

## 2 引用文件

本规范无引用文件。

## 3 术语和定义

### 3.1 固定时延 permanent delay

1PPS 信号经过可编程延迟线设备时产生的固定的延迟时间。

### 3.2 时延偏差

可编程延迟线设备设定的时延值与实际时延值之间的偏差。

## 4 概述

可编程延迟线设备（以下简称延迟线设备）是一种对输入脉冲信号进行精确延时控制并由输出端输出延时后的脉冲信号的设备。延迟线设备主要由输入模块、延时控制模块和输出模块组成，其结构组成如图 1 所示。

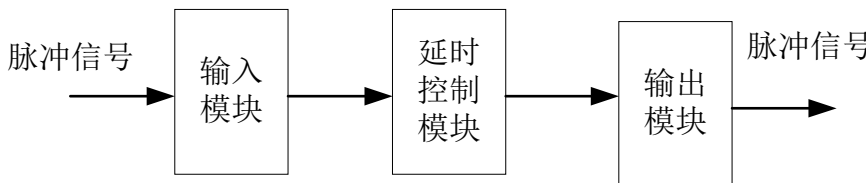


图 1 可编程延迟线设备组成结构原理图

可编程延迟线设备利用光纤技术对调制在光波上的微波信号进行传输、分配和处理，具有极大地带宽，损耗低，结构简单，抗电磁干扰能力强，应用前景广阔。

## 5 计量特性

### 5.1 固定时延

(0 ns~10 ns)。

### 5.2 时延可调范围

优于 $\pm 100$  ns。

### 5.3 时延准确度

优于 $\pm 10$  ps。

## 5.4 时延分辨力

$\leq 10\text{ps}$ 。

注：以上技术指标不用于合格性判定，仅提供参考。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

- a) 环境温度： $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ；
- b) 环境相对湿度： $\leq 80\%$ ；
- c) 电压： $220(1 \pm 10\%) \text{V}$ ，频率： $50(1 \pm 2\%) \text{Hz}$ ；
- d) 周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

### 6.2 测量标准及其他设备

#### 6.2.1 参考时间频率源

- a) 1PPS 前沿抖动： $\leq 10 \text{ps}$ ；
- b) 相对频率偏差：优于 $\pm 1 \times 10^{-10}$ 。

#### 6.2.2 时间间隔测量仪

- a) 时间间隔测量范围 $1 \text{ns} \sim 1 \text{s}$ ；
- b) 具备外部参考频标输入功能。

#### 6.2.3 宽带示波器

- a) 带宽： $\geq 40 \text{GHz}$ ；
- b) 时间间隔测量相对误差： $\leq 0.05\%$
- c) 上升时间： $\leq 10 \text{ps}$ 。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

校准项目及对应校准方法见表1。

表 1 校准项目及对应校准方法一览表

序号	校准项目名称	校准方法对应条款
1	外观及功能检查	7.2.1
2	固定时延	7.2.2
3	时延可调范围	7.2.3
4	时延准确度	7.2.4

5	时延分辨力	7.2.5
---	-------	-------

## 7.2 校准方法

### 7.2.1 外观及工作正常性检查

用目测的方法检查被校延迟线设备的外观和结构。被校延迟线设备不应有影响正常运行和读数的机械损伤、故障和异常现象。

### 7.2.2 固定时延

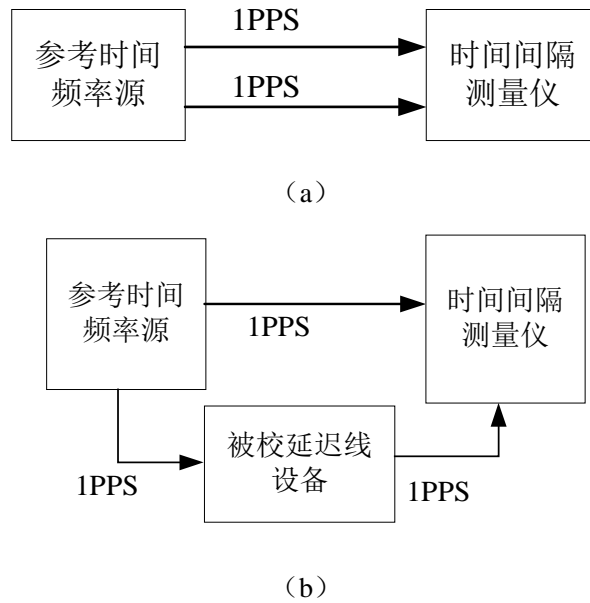


图2 固定时延校准仪器连接示意图

- 仪器连接如图2所示；
- 被校延迟线设备按产品说明书规定加电预热；
- 按图2(a)连接仪器，时间间隔测量仪测量两个通道信号的时间间隔，每秒测量1次，连续测量100次，记录测量值 $\Delta T_{1PPS1}$ 、 $\Delta T_{1PPS2}$ 、 $\dots$ 、 $\Delta T_{1PPS100}$ ，取100次测量值的平均值记为 $\bar{T}_{1PPSout}$ ；
- 选择两根总长度与线缆C1长度相同的线缆C2和C3，按图2(b)连接仪器，设置被校延迟线设备时延为零。时间间隔测量仪测量两个通道信号的时间间隔，每秒测量1次，连续测量100次，记录测量值 $\Delta T_{1PPS1}$ 、 $\Delta T_{1PPS2}$ 、 $\dots$ 、 $\Delta T_{1PPS100}$ ，取100次测量值的平均值记为 $\bar{T}_{1PPSout}$ ，延迟线设备的固定时延由公式(1)计算得到；

$$\Delta T_{1PPS} = \bar{T}_{1PPS} - \tau \dots\dots\dots (1)$$

式(1)中,

$\Delta T_{1PPS}$  ——被校延迟线设备的固定时延, ns;

$\bar{T}_{1PPS}$  ——两路 1PPS 信号均未经过被校延迟线设备时时间间隔, ns;

$\tau$  ——其中 1 路 1PPS 信号经过被校延迟线设备后的时间间隔, ns。

### 7.2.3 时延可调范围

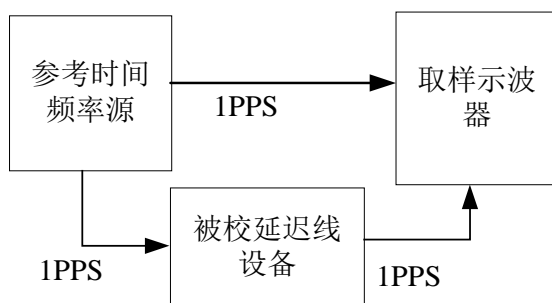


图 3 时延可调范围校准仪器连接示意图

- a) 仪器连接如图 3 所示;
- b) 被校延迟线设备按产品说明书规定加电预热;
- c) 选择取样示波器两通道时间间隔测量功能, 设置被校延迟线设备时延量为零, 取样示波器连续测量 100s, 读取取样示波器的测量结果的平均值, 记为 $\Delta t_1$ ;
- d) 设置被校延迟线设备时延量为正向最大, 取样示波器连续测量 100s, 读取取样示波器的测量结果的平均值, 记为 $\Delta t_2$ ;
- e) 设置被校延迟线设备时延量为负向最大, 取样示波器连续测量 100s, 读取取样示波器的测量结果的平均值, 记为 $\Delta t_3$ , 被校延迟线设备的时延可调范围由公式(2)计算得到:

$$-\Delta t_{max} = \Delta t_3 - \Delta t_1; \quad \Delta t_{max} = \Delta t_2 - \Delta t_1 \quad (2)$$

式(2)中:

$\Delta t_1$  ——被校延迟线设备无延迟时示波器的测量结果, ns;

$\Delta t_2$  ——被校延迟线设备正向延迟最大时示波器的测量结果, ns;

$\Delta t_3$  ——被校延迟线设备负向延迟最大时示波器的测量结果, ns。

被校延迟线设备的时延可调范围为  $(\Delta t_3 - \Delta t_1 \sim \Delta t_2 - \Delta t_1)$



## 7.2.4 时延偏差

- a) 仪器连接如图 3 所示；
- b) 被校延迟线设备按产品说明书规定加电预热；
- c) 选择取样示波器两通道时间间隔测量功能，设置被校延迟线设备时延量为零，取样示波器连续测量 100s，读取取样示波器的测量结果的平均值，记为  $\Delta t_1$ ；

d) 设置被校延迟线设备时延量为  $\Delta t$  (如 10ps、100ps、1ns、10ns 等)，取样示波器连续测量 100s，读取取样示波器的测量结果的平均值，记为  $\Delta t_4$ ，有公式 (3) 计算得到被校延迟线设备的时延偏差；

$$\Delta t' = (\Delta t_4 - \Delta t_1) - \Delta t \dots \dots \dots (3)$$

式 (3) 中：

$\Delta t'$ ——被校延迟线设备的时延偏差，ns；

$\Delta t_1$ ——被校延迟线设备无延迟时示波器的测量结果，ns；

$\Delta t_4$ ——被校延迟线设备时延量为  $\Delta t$  时示波器的测量结果，ns。

## 7.2.5 时延分辨力

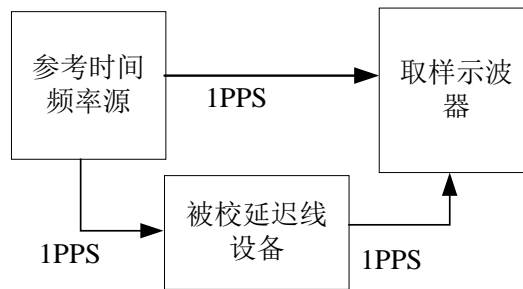


图 4 时延分辨力测量仪器连接示意图

- a) 仪器连接如图 4 所示；
- b) 被校延迟线设备按产品说明书规定加电预热；
- c) 设置被校延迟线设备延时调整量为零，在宽带取样示波器上读取参考时间频率源输出的 1PPS 与被校延迟线设备输出的 1PPS 之间的时间间隔  $\Delta T_1$ ；

d) 设置被校延迟线设备调整量从 1 ps 开始按照 1ps 的步进逐渐增加，延迟线设备时延调整量每增加 1 ps，至少连续测量 20 s，观察测量 20 s 平均值结果的变化，若测量结果与初始值相比无明显变化，则继续增加可编程延迟线设备时延调整量，直到测量结果与初始值之差与时延调整量接近时，停止测量，此时的

时延调整量即为被校延迟线设备的测量分辨力。

## 8 校准结果表达

经校准的定位计时终端出具校准证书。校准证书应至少包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的说明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

## 9 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸多因素所决定，送校单位可根据实际使用情况确定复校时间间隔。建议复校时间间隔为1年。

## 附录 A 原始记录格式

## 原始记录格式

委托单位	
被校设备	
校准地点	
环境条件	
校准时间	
校准人员	
核验人员	
校准依据	
校准仪器	
校准项目	<input type="checkbox"/> 固定时延 <input type="checkbox"/> 时延调整范围 <input type="checkbox"/> 时延准确度 <input type="checkbox"/> 时延分辨力

## 1. 外观和工作正常性检查

外观： <input type="checkbox"/> 完好 <input type="checkbox"/> 损坏
工作正常性检查： <input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常

## 2. 固定时延

固定时延 (ns)	测量不确定度 $U$ (ns)

## 3. 时延调整范围

校准项目	测量结果 (ns)	测量不确定度 $U$ (ns)

最小时延		
最大时延		

#### 4. 时延准确度

时延准确度 (ps)	测量不确定度 $U$ (ps)

#### 5. 时延分辨力

时延分辨力 (ps)	测量不确定度 $U$ (ps)

## 附录 B 校准证书内页格式

## 校准证书内页格式

## 1. 外观和工作正常性检查

外观： <input type="checkbox"/> 完好 <input type="checkbox"/> 损坏
工作正常性检查： <input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常

## 2. 固定时延

固定时延 (ns)	测量不确定度 $U$ (ns)

## 3. 时延调整范围

校准项目	测量结果 (ns)	测量不确定度 $U$ (ns)
最小时延		
最大时延		

## 4. 时延准确度

时延准确度 (ps)	测量不确定度 $U$ (ps)

## 5. 时延分辨力

时延分辨力 (ps)	测量不确定度 $U$ (ps)

## 附录 C 测量结果的不确定度评定示例

### 概述

本规范给出了延迟线设备的固定时延、时延可调范围、时延准确度和时延分辨力的校准方法。下面对固定时延、时延可调范围、时延偏差和时延分辨力的测量不确定度给出评定示例。

### C.1 固定时延测量结果不确定度评定

本示例采用 GNSS 驯服铷钟作为参考时间源，对被校延迟线设备进行校准。

#### C.1.1 测量模型

$$\Delta T_{1PPS} = \bar{T}_{1PPS} - \tau \quad (C.1)$$

式中：

$\Delta T_{1PPS}$  ——被校延迟线设备的 1PPS 输出定时偏差，ns；

$\bar{T}_{1PPS}$  ——时间间隔测量仪 100 次测量值的平均值，ns；

$\tau$  ——线缆时延，ns。

#### C.1.2 标准不确定度的来源及评定

固定时延的不确定度来源有以下几个分量：时间间隔测量仪测量不准引入的标准不确定度，时间间隔测量仪分辨力引入的标准不确定度，线缆时延引入的标准不确定度，测量重复性引入的标准不确定度。

##### C.1.2.1 时间间隔测量仪最大允许误差引入的标准不确定度 $u_1$

根据时间间隔测量仪的校准结果可知，当测量时间间隔小于 100ns 时，其时间间隔测量的扩展不确定度为 0.5 ns（包含因子  $k=2$ ），采用 B 类评定方法，由参考时间源不确定度引入的标准不确定度：

$$u_1 = \frac{0.5\text{ns}}{2} = 0.25\text{ns} \quad (C.2)$$

##### C.1.2.2 时间间隔测量仪分辨力引入的标准不确定度 $u_2$

时间间隔测量仪分辨力为 20ps，区间半宽度为 20ps。采用 B 类评定方法，包含因子  $k = \sqrt{3}$ ，

$$u_2 = \frac{20\text{ps}}{\sqrt{3}} = 11.55\text{ps} \quad (\text{C. 3})$$

### C. 1. 2. 3 线缆时延引入的标准不确定度 $u_3$

实际测量时所选线缆 C2 和 C3 的长度之和与线缆 C1 相同，由线缆接头引入的时延不确定度约为 0.1ns，即

$$u_3 = 0.1\text{ns} \quad (\text{C. 4})$$

### C. 1. 2. 4 测量重复性引入的不确定度 $u_4$

重复测量 10 次固定时延，每次测量结果为连续测量 100s 的平均值，记录测量结果。

表 C. 1 1PPS 时间偏差测量结果记录表

次数 i	固定时延测量值 $X_i$ (ns)	次数 i	固定时延测量值 $X_i$ (ns)
1	25.1	6	25.0
2	25.0	7	25.1
3	25.1	8	25.1
4	25.0	9	25.1
5	25.0	10	25.0

$$u_4 = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (X_i - \bar{X})^2}{10 - 1}} / \sqrt{100} \approx 0.01\text{ns} \quad (\text{C. 5})$$

### C. 1. 3 标准不确定度一览表

表 C. 2 1PPS 时间偏差标准不确定度一览表

不确定度来源	类型	值	分布	因子	标准不确定度
时间间隔测量仪最大允许误差 $u_1$	B	2ns	/	2	0.25ns
时间间隔测量仪分辨率 $u_2$	B	25ps	均匀	$\sqrt{3}$	11.55ps
线缆时延 $u_3$	B	0.1ns	/	1	0.1ns
测量重复性 $u_4$	A	0.01ns			0.01ns

### C. 1. 4 不确定度分量之间相关性

各不确定度分量之间无相关性。

### C. 1. 5 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 0.27\text{ns} \quad (\text{C. 6})$$

C.1.6 扩展不确定度  $U$ 

被校延迟线设备的固定时延扩展不确定度 ( $k=2$ )

$$U = ku_c = 2 \times 0.27\text{ns} \approx 0.5\text{ns} \quad (\text{C.7})$$

## C.2 时延可调范围测量结果不确定度评定

时延可调范围测量的参数为时延值，与测量固定时延所用的标准器一致，因此其测量的不确定度来源和评定结果也一致，故被校延迟线设备的时延可调范围扩展不确定度为

$$U = 0.5\text{ns} \quad (k=2) \quad (\text{C.8})$$

## C.3 时延偏差测量结果不确定度评定

## C.3.1 测量模型

$$\Delta T = \overline{\Delta T} \dots\dots\dots \dots\dots \dots \dots\dots \dots\dots (\text{C.9})$$

式中：

$\Delta T$  ——被校延迟线设备的测量偏差；

$\overline{\Delta T}$  ——100 次测量值的平均值。

## C.3.2 测量不确定度来源

测量不确定度来源主要有：取样示波器的时间测量不确定度引入的标准不确定度，测量重复性引入的标准不确定度。

## C.3.3 标准测量不确定度评定

C.3.3.1 取样示波器的时间测量不确定度引入的标准不确定度  $u_1$ 

根据取样示波器的时间测量不确定度的溯源证书可知，其时间测量不准确度为 5ps，采用 B 类评定方法，取  $k=2$ ，由取样示波器的时间测量不确定度引入的标准不确定度：

$$u_1 = \frac{5\text{ps}}{2} = 2.5\text{ps} \quad (\text{C.10})$$

C.3.3.2 测量重复性引入的标准不确定度  $u_2$ 

在相同的实验条件下，重复测量 10 次时延偏差，每次测量结果为连续测量 100s 的平均值，测得的结果如表 C.5 所示，按 A 类评定。

表 C.3 时延偏差测量 10 次的结果



次数 i	时延偏差 $X_i$ (ps)	次数 i	时延偏差 $X_i$ (ps)
1	50.4	6	49.4
2	50.2	7	49.8
3	49.9	8	50.1
4	50.4	9	50.7
5	50.6	10	50.5

测量结果的试验标准偏差为:

$$u_2 = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (X_i - \bar{X})^2}{10-1}} / \sqrt{100} = 0.04\text{ps} \quad (\text{C. 11})$$

### C. 3. 3. 4 标准不确定度一览表

表 C. 4 时延偏差标准不确定度一览表

不确定度来源	类型	值	分布	因子	标准不确定度
取样示波器的时间测量不确定度 $u_1$	B	12ps	/	2	2.5ps
测量重复性 $u_2$	A	0.04ps			0.04ps

### C. 3. 4 不确定度分量之间相关性

各不确定度分量之间无相关性。

### C. 3. 5 合成标准不确定度

合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \approx 2.5\text{ps} \quad (\text{C. 12})$$

### C. 3. 6 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ , 扩展不确定度为

$$U = k \times u_c \approx 5\text{ps} \quad (\text{C. 13})$$

时延偏差校准结果的扩展不确定度为  $U = 5\text{ps}$  ( $k=2$ )。

## C. 4 时延分辨力测量结果不确定度评定

### C. 4. 1 测量模型

$$\Delta T' = \overline{\Delta T} \dots \dots \dots \quad (\text{C. 14})$$

式中:

$\Delta T'$  ——被校延迟线设备的时延分辨力；

$\overline{\Delta T}'$  ——100 次测量值的平均值。

#### C. 4. 2 测量不确定度来源

测量不确定度来源主要有：取样示波器前沿抖动引入的标准不确定度，测量重复性引入的标准不确定度。

#### C. 4. 3 标准测量不确定度评定

##### C. 4. 3. 1 取样示波器前沿抖动引入的标准不确定度 $u_1$

根据取样示波器的溯源证书可知，其时间偏差不准确度为 5ps，采用 B 类评定方法，取  $k=2$ ，由取样示波器前沿抖动引入的标准不确定度：

$$u_1 = \frac{5\text{ps}}{2} = 2.5\text{ps} \quad (\text{C. 15})$$

##### C. 4. 3. 2 测量重复性引入的标准不确定度 $u_2$

在相同的实验条件下，重复测量 10 次 PTP 时间偏差，每次测量结果为连续测量 100s 的平均值，测得的结果如表 C. 5 所示，按 A 类评定。

表 C. 5 时延分辨力测量 10 次的结果

次数 i	时延分辨力 $X_i$ (ps)	次数 i	时延分辨力 $X_i$ (ps)
1	10.4	6	10.4
2	10.2	7	9.8
3	10.4	8	10.1
4	9.6	9	9.7
5	10.4	10	10.5

测量结果的试验标准偏差为：

$$u_2 = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (X_i - \bar{X})^2}{10-1}} / \sqrt{100} = 0.03\text{ps} \quad (\text{C. 16})$$

##### C. 4. 3. 4 标准不确定度一览表

表 C. 6 PTP 时间偏差标准不确定度一览表

不确定度来源	类型	值	分布	因子	标准不确定度
取样示波器的前沿抖动引入的	B	5ps	/	2	2.5ps

不确定度 $u_1$					
测量重复性 $u_2$	A	0.03ps			0.03ps

## C. 4. 4 不确定度分量之间相关性

各不确定度分量之间无相关性。

## C. 4. 5 合成标准不确定度

合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \approx 2.5\text{ps} \quad (\text{C. 17})$$

## C. 4. 6 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度为

$$U = k \times u_c \approx 5\text{ps} \quad (\text{C. 18})$$

被校可编程延迟线设备的时延分辨力测量结果的扩展不确定度为  $U = 5\text{ps}$  ( $k=2$ )。